

Beispielarbeit: Schüler experimentieren

Wechselseitige Einflüsse der Keimung von Senf- und Spinatsamen bei verschiedenen Saatreihenabständen.

von Meike Bülte und Meike Rosendahl

KURZFASSUNG:

Wir wollten untersuchen, ob sich verschiedene Pflanzen bei der Keimung gegenseitig beeinflussen, und welche Rolle der Saatabstand spielt. Dazu wählten wir Gelbsenf (*Sinapis spec.*) und Spinat (*Spinacia oleracea*). In Petrischalen auf nassem Filtrierpapier säten wir in Reihen mit unterschiedlichen Abständen (1,0 cm, 0,5 cm, 0,25 cm und 0,0 cm) einmal Senf, einmal Spinat und ein drittes Mal abwechselnd Senf und Spinat. Es zeigte sich folgendes Ergebnis: 1. Senf: Schnelle Keimung: 100% der auskeimenden Samen keimen am 3. Tag ($K_{100} = 3$ Tage). Bei geringem bzw. fehlendem Reihenabstand (0,25 cm bzw. 0,0 cm): gegenseitige Behinderung. 2. Spinat: Längere Keimdauer: 50% der auskeimenden Samen keimen am 9. Tag ($K_{50} = 9$ Tage). Bei geringem und fehlendem Abstand: gegenseitige Behinderung. 3. Spinat und Senf: Leichte Keimungsverzögerung beim Senf, insbesondere bei kürzeren Reihenabständen. Deutliche Beschleunigung der Keimung beim Spinat ($K_{50} = 5$ Tage) im Vergleich zur Alleinsaat.

GLIEDERUNG

1. **EINLEITUNG**
 - 1.1. **Themenwahl**
 - 1.2. **Literatur und Hilfsmittel**
2. **HAUPTTEIL**
 - 2.1. **Auswahl und Beschreibung der untersuchten Pflanzen**
 - 2.2. **Keimung von Samen**
 - 2.3. **Wechselwirkungen zwischen Pflanzen**
 - 2.4. **Vorgehensweise**
 - 2.5. **Ergebnisse**
 - 2.5.1. **Keimung von Senf allein**
 - 2.5.2. **Keimung von Spinat allein**
 - 2.5.3. **Keimung von Senf und Spinat gemeinsam**
 - 2.6. **Schlussfolgerungen, Vermutungen**
3. **SCHLUSS**
 - 3.1. **Kritische Rückschau**
 - 3.2. **Ausblick**
 - 3.3. **Persönliche Erkenntnisse**
4. **LITERATUR**

1. **EINLEITUNG**
 - 1.1 **Themenwahl**

Da wir schon zweimal mit viel Spaß und Erfolg am Wettbewerb "Schüler experimentieren" teilgenommen haben, wollten wir auch dieses Jahr dabeisein und mitforschen. Wir wollten untersuchen, wie verschiedene Keimlinge in unterschiedlichem Saatabstand wachsen. Wir dachten, dass dieses Thema viele Leute interessieren könnte, die sich beruflich oder in ihrer Freizeit mit Pflanzen beschäftigen.

1.2. Literatur und Hilfsmittel

In unserem Biologiebuch fanden wir keine brauchbare Hilfe für unsere Untersuchung. So zogen wir unterschiedliche Gartenbücher und Zeitschriften zu Rate, um unsere Versuchspflanzen auszuwählen und Informationen über sie zu erlangen. Die benutzte Literatur ist am Ende der Arbeit im Literaturverzeichnis zusammengestellt. Bei gelegentlich auftretenden Problemen konnten wir uns an unseren Beratungslehrer wenden, der uns in Gesprächen und Diskussionen mit Tipps und Ratschlägen weiterhalf. Darüber hinaus benutzten wir keine weiteren Hilfsmittel. Die Schlussfolgerungen, die wir aus unseren Beobachtungen zogen, stellen unsere eigenen Überlegungen und Erkenntnisse dar.

2. HAUPTTEIL

2.1. Auswahl und Beschreibung der untersuchten Pflanzen

Wir wählten Gelbsenf (*Sinapis spec.*) und Spinat (*Spinacia oleracea*) aus, weil beide Pflanzen eine kurze Keimdauer und schnelles Wachstum zeigen. Außerdem waren Samen dieser Pflanzen für uns auch im Herbst erreichbar. Der Gelbsenf (*Sinapis*), ein Vertreter der Kreuzblütler wie die Kohlgewächse, keimt in wenigen Tagen und entwickelt schnell ein reiches Wurzelwerk. Meist dient er als Gründüngungspflanze, gleichzeitig wehrt er Schnecken und andere im Gemüsebau unerwünschte Tiere ab, außerdem wirkt er nematodenhemmend.

Die südeuropäischen Länder, in denen Senf seit Jahrtausenden bekannt ist, sind sein ursprüngliches Verbreitungsgebiet. Besondere Ansprüche an den Boden stellt er nicht, bevorzugt aber humusreiche, kalkhaltige Erde.

Der Spinat (*Spinacia oleracea*) war schon bei den Mönchen des Mittelalters als appetitanregender "Magenbesen" beliebt. Das frischgrüne Gänsefußgewächs diente vor allem als Kleinkind- und Krankenkost. Spinat wirkt anregend auf Galle, Leber und Verdauung, ist blutbildend, enthält viel Eisen und mehrere wichtige Vitamine, vor allem Vitamin A. Aus dem Mischkulturgarten ist Spinat wegen seiner düngenden und bodenlockernden Wirkung nicht mehr wegzudenken. Er wird gelegentlich als Gründüngung, meist aber als Saatgemüse verwendet; die Wurzeln dieser zweihäusigen Pflanze können immerhin die Länge von 1,40 m erreichen. Spinat wird als Herbst-, Winter- oder Frühjahrsgemüse angebaut und bevorzugt leichte oder mittelschwere Böden.



Abb. 1:
Habitus
Senf

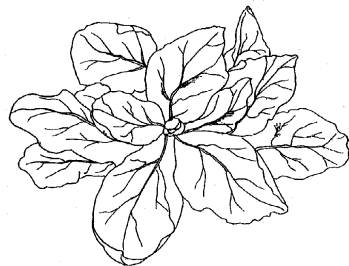


Abb. 2:
Habitus
Spinat

2.2. Keimung von Samen

Keimung nennt man den Vorgang, bei dem aus einem Samen ein junges Pflänzchen wird. Sie beginnt mit dem Erscheinen der ersten Wurzel und findet ihren Abschluss, wenn die junge Pflanze sich mit Hilfe von Wurzeln und Blättern selbst versorgt. Während der Keimung werden Wurzeln und Blätter aus Nährstoffen aufgebaut, die im Samen gespeichert sind. Die in dieser Nährreserve vorhandenen Kohlenhydrate werden veratmet, um die für das Wachstum notwendige Energie freizusetzen. Hierbei ist Wasser in zunehmender Menge nötig.

2.3. Wechselwirkungen zwischen Pflanzen

Wechselwirkungen zwischen Pflanzen beruhen auf kleinen Mengen unterschiedlicher Substanzen. Fördernde Wirkungen sind wohl bekannt, aber nicht so häufig oder auch schwieriger nachzuweisen als hemmende Einflüsse (Allelopathien). Hemmende oder fördernde Wirkstoffe können auf drei Wegen die Nachbarpflanze erreichen:

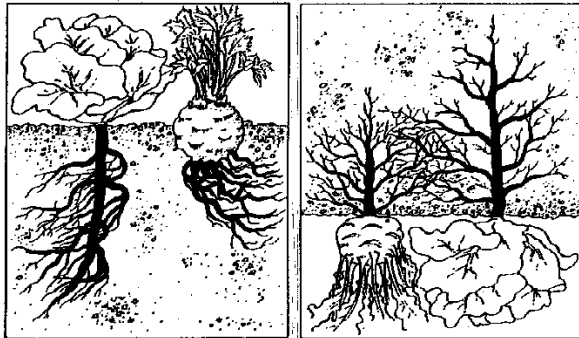


Abb. 3:
Während die Wurzeln unverträglicher Pflanzen auseinanderstreben, verwachsen Freunde zu einem innigen Bündnis.

1. durch gasförmige Substanzen, die von Blättdrüsen ausgeschieden werden;
2. durch flüssige oder feste Substanzen, die durch Regenwasser von den Blättern abgespült werden;
3. durch Wurzelabscheidungen, die nachhaltig Flora und auch Fauna des Bodens beeinflussen, und von den Nachbarpflanzen auch direkt aufgenommen werden können.

Es ist bekannt, dass die Ausscheidungen von Senfwurzeln eine nematodenhemmende Wirkung haben.

2.4. Vorgehensweise

Für unseren Versuch benutzten wir dreimal vier Petrischalen, die wir folgendermaßen vorbereiteten:

Zunächst legten wir in jede Petrischale ein Blättchen Filtrierpapier, das sich gut mit Leitungswasser vollgesaugt hatte. In vier dieser Schalen legten wir Senfsamen und zwar jeweils in fünf Reihen. Zwischen diesen Reihen lagen Pappstreifen, deren Breite von Schale zu Schale unterschiedlich war: 1,0 cm; 0,5 cm; 0,25 cm.

In der letzten Schale stießen die Reihen und damit die Samenkörner unmittelbar aneinander (0,0cm). In jede Reihe legten wir 10 Samenkörner direkt nebeneinander. Ebenso verfahren wir mit den Spinatsamen. Im letzten Vierersatz Petrischalen lagen in abwechselnder Folge fünf Reihen Senf- und fünf Reihen Spinatsamen mit den schon oben beschriebenen Abständen.

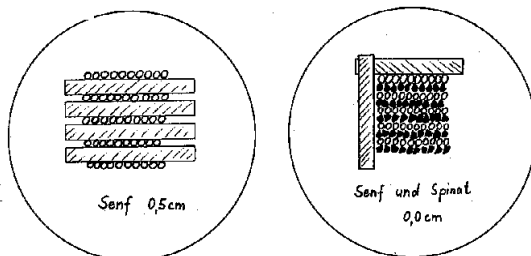


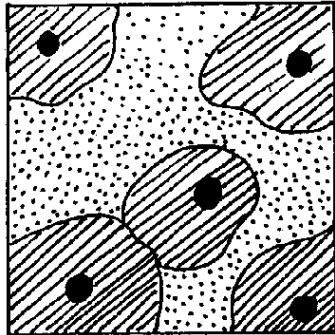
Abb. 4:
Skizze der Keimgefäße
Die Abbildungen zeigen Beispiele unserer Versuchsanordnung

2.5. Ergebnisse

Die Ergebnisse unserer Beobachtungen und Messungen haben wir in einer Zeichnung, in Tabellen und in einer Grafik dargestellt. Um die Keimungsgeschwindigkeit erfassen und vergleichen zu können, haben wir ein Maß für die Keimungszeit erfunden:

K_{100} bzw. K_{50} - K_{100} : Anzahl der Tage, innerhalb der alle überhaupt keimenden Samen (100%) ausgekeimt sind.

K_{50} : Anzahl der Tage, innerhalb der 50% aller auskeimenden Samen gekeimt sind.



- Keimzentrum
- ▨ nächster Keimabschnitt
- ▩ weiterer Keimabschnitt

Abb. 5:
Skizze der
Keimzentren

2.5.1. Keimung von Senf allein

Alle fünfzig Senfsamen waren nach drei Tagen gekeimt, deshalb erübrigt sich hier eine Tabelle. Somit ergibt sich ein Wert für die Keimungszeit von $K_{100} = 3$ Tage. Eine Besonderheit fiel allerdings auf: Bei den dicht gesäten Senfsamen (0,0 cm Reihenabstand) bildeten sich zunächst einige Keimzentren (siehe Abb.5). Etwas später setzte der Keimvorgang zwischen diesen Zentren ein und erfasste dann alle Senfsamen. Jedoch entwickelten sich hier, im Gegensatz zu den Ansätzen mit Reihenabständen, nicht alle Keimlinge weiter, wuchsen und bildeten Keimblätter. Ein Teil der eng stehenden Keimlinge vertrocknete, ein weiterer Teil blieb in der Entwicklung zurück. Nur etwa die Hälfte entwickelte sich normal weiter.

Datum Abstand	28.12.	29.12.	30.12.	31.12.	1.1.	2.1.	3.1.
1,0cm	/	/	5	12	40	48	50
0,5cm	/	/	8	11	40	47	50
0,25cm	/	/	1	6	25	40	50
0,0cm	/	/	5	8	20	30	39

Tabelle 1 Senf:
Keimblätter

Bis zum 5. Tag (1.1.) wiesen die Keimlinge mit den größeren Saatreihenabständen (1,0 cm und 0,5 cm) einen deutlichen Entwicklungsvorsprung auf, abzusehen an der Ausbildung von Keimblättern.

Bis zum 7. Tag hatten die 0,25 cm Keimlinge diesen Vorsprung jedoch wieder wettgemacht. Nach einer Woche besaßen alle gesunden Sämlinge Keimblätter, unterschieden sich aber in ihrem Längenwachstum. Bei 1,0 cm Saatreihenabstand erreichten die Keimlinge eine durchschnittliche Länge von 7 cm, bei 0,5 cm und 0,25 cm Abstand waren sie mit durchschnittlich 7,5 cm Länge etwas höher aufgeschossen und bei der ganz dichten Saat (0,0 cm Reihenabstand) blieben sie mit durchschnittlich 4 cm Länge deutlich kürzer.

Am 12. und letzten Tag unserer Beobachtungen wurden folgende Durchschnittslängen ermittelt:

Datum Abstand	28.12.	29.12.	30.12.	31.12.	1.1.	2.1.	3.1.	4.1.	5.1.	6.1.	7.1.	8.1.
1,0cm	/	1	1	2	3	7	7	9	19	41	46	46
0,5cm	/	/	2	3	3	8	8	10	20	41	43	43
0,25cm	/	1	2	2	3	6	6	7	9	10	10	12
0,0cm	/	/	1	1	1	4	4	7	9	10	12	14

) cm
) cm

Der Spinat keimte deutlich langsamer als der Gelb-senf. Nach unregelmäßigem Keimungsbeginn - es keimten immer nur einzelne Samen - waren nach 7 Tagen am 3.1. erst 4 bis 8 Keimlinge pro Schale vorhanden. Am 9. Tag (5.1.) stellten wir in den Schälchen bei 1,0 cm und 0,5 cm Abstand eine explosionsartige Zunahme der Keimungsrate fest. Von 9 bzw. 10 Samen mit Keimwurzeln am 8. Tag stieg die Anzahl innerhalb von zwei Tagen zum 10. Tag auf 41 Keimlinge. Danach stieg die Anzahl gekeimter Samen nur noch langsam auf 46 bzw. 43 am Ende der Beobachtung am 12.Tag (8.1.) an, das sind ca 90% der ursprünglich ausgesäten fünfzig Spinatsamen. In den beiden anderen Schalen mit den sehr geringen Reihenabständen (0,25 cm und 0,0 cm) keimten bis zum letzten Beobachtungstag (12. Tag) insgesamt nur 12 bzw. 14 Samen, das sind nur ca. 25% der ausgesäten Samenzahl. Für die Keimungszeit ergibt sich ein K 50 -Wert von ca. 9 Tagen (siehe auch Abb. 6).

Reihenabstand	28.12.	29.12.	30.12.	31.12.	1.1.	2.1.	3.1.	4.1.	5.1.	6.1.	7.1.	8.1.
1,0cm	/	/	/	/	1	1	3	3	5	6	7	11
0,5cm	/	/	/	/	1	2	3	3	7	8	9	17
0,25cm	/	/	/	/	1	1	1	2	5	5	6	6
0,0cm	/	/	/	/	1	1	1	1	4	4	5	10

**Tabelle 3 Spinat:
Keimblätter**

Die Keimblätter erschienen etwa drei Tage nach dem Sichtbarwerden der Keimwurzel. Diese Beobachtung erklärt auch das Anwachsen der Anzahl von Keimlingen mit Keimblättern am letzten Beobachtungstag, dem 8.1., drei Tage nach dem massiven Anstieg der Zahl gekeimter Samen am 5.1.. In der 0,25 cm Schale wurden an diesem Tag allerdings keine neuen Keimblätter ausgebildet.

2.5.3. Keimung von Senf und Spinat gemeinsam

Reihenabstand	28.12.	29.12.	30.12.	31.12.	1.1.	2.1.	3.1.	4.1.	5.1.	6.1.	7.1.	8.1.
1,0cm	/	48/0	50/3	50/12	50/18	50/20	50/23	50/24	50/27	50/28	50/31	50/40
0,5cm	/	40/2	48/3	50/5	50/6	50/15	50/19	50/22	50/24	50/26	50/30	50/34
0,25cm	/	24/0	46/1	50/10	50/12	50/18	50/20	50/21	50/23	50/24	50/27	50/29
0,0cm	/	16/0	44/0	50/2	50/3	50/7	50/8	50/10	50/11	50/13	50/15	50/17

**Tabelle 4
Senf + Spinat:
Keimwurzeln
Senf/Spinat**

Im Gegensatz zur Alleinsaat waren die Senfsamen nach 3 Tagen noch nicht alle gekeimt. Insbesondere bei den drei geringeren Reihenabständen gab es eine kleine Verzögerung, die jedoch am 4. Tag (31.12.) behoben war. $K_{100} = 4$ Tage.

Auch die durchschnittliche Länge der Senfkeimlinge war zu Beginn etwas geringer als bei der Alleinsaat. Diesen Rückstand holten sie jedoch größtenteils schnell wieder auf. Die Senfkeimlinge mit einem 0,25 cm Abstand zu den benachbarten Spinatsamen hatten die anderen Senfkeimlinge bei Alleinsaat nach einer Woche in ihrem Längenwachstum eingeholt, bei 0,5 cm Abstand um durchschnittlich 1 cm überholt, bei 0,0 cm Abstand sogar um 3 cm. Ein ungünstigerer Wert ergab sich nur bei 1,0 cm Reihenabstand: 4,5 cm Durchschnittslänge im Vergleich zu 7 cm bei Alleinsaat.

Reihenabstand	28.12.	29.12.	30.12.	31.12.	1.1.	2.1.	3.1.	4.1.	5.1.	6.1.	7.1.	8.1.
1,0 cm	/ /	/ /	/ /	16 / -	38 / -	47 / 1	50 / 4	50 / 7	50 / 11	50 / 13	50 / 15	50 / 19
0,5 cm	/ /	/ /	/ /	40 / -	43 / -	48 / 3	50 / 8	50 / 10	50 / 12	50 / 18	50 / 23	50 / 26
0,25 cm	/ /	/ /	/ /	20 / -	24 / -	30 / 1	40 / 4	50 / 6	50 / 9	50 / 10	50 / 11	50 / 15
0,0 cm	/ /	/ /	/ /	19 / -	22 / 1	23 / 2	25 / 3	35 / 4	39 / 7	50 / 8	50 / 9	50 / 11

Tabelle 5
Senf + Spinat:
Keimblätter
Senf/Spinat

Die Entwicklung der Keimblätter vollzog sich in dieser Versuchsanordnung etwas langsamer als bei der Aussaat von Senf allein. Nach einer Woche besaßen nur die Keimlinge mit den Abständen von 1,0 cm und 0,5 cm Keimblätter, während es bei den Abständen von 0,25 cm 80% und bei 0,0 cm Abstand sogar erst 50% waren.

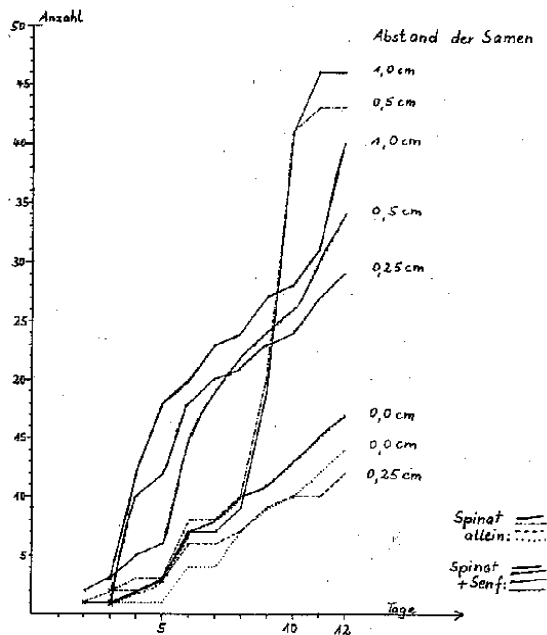


Abb 6:
Anzahl der gekeimten
Wurzeln beim Spinat in
Abhängigkeit von der
Zeit bei Alleinsaat und
Mischsaat mit Senf

Beim Spinat ergab sich ein ganz anderes Bild: In Mischsaat waren nach einer Woche bereits 23 Keimwurzeln bei 1,0 cm Reihenabstand vorhanden (Steigerung um 230% gegenüber Alleinsaat), bei 0,5 cm Abstand waren es 19 Wurzeln (Steigerung um 150%), bei 0,25 cm 20 Wurzeln (Steigerung um 230%) und bei 0,0 cm waren es 8 Keimwurzeln (Steigerung um 100%). Diesen Vorsprung in der Keimwurzelzahl kann der Mischsaatspinat bei 0,25 cm Reihenabstand bis zum Ende der Beobachtung am 12. Tag gegenüber der Spinat in Alleinsaat halten, während er beim 0,0 cm Wert prozentual etwas geringer wird. Bei den etwas größeren Reihenabständen von 1,0 cm und 0,5 cm wird der Mischsaatspinat am 9. Tag von dem Spinat in Alleinsaat überflügelt, wenn hier, wie schon beschrieben, zwischen dem 8. und 10. Tag ein großer Keimstschub einsetzt.

Für die Keimungszeit von Spinat ergibt sich somit bei Mischsaat mit Senf ein deutlich kürzerer K_{50} -Wert von ca. 5 Tagen im Vergleich zum K_{50} -Wert von ca. 9 Tagen bei Alleinsaat. Man kann somit von einer Beschleunigung von 4 Tagen bei der Auskeimung von Spinatsamen bei Mischsaat mit Senf im Vergleich zur Alleinsaat sprechen. Die Beschleunigung der Auskeimung von Spinatsamen bei Mischsaat mit Senf wird auch bei der größeren Zahl von Keimlingen mit Keimblättern am Ende der Beobachtung, am 12. Tag, deutlich (siehe Tab. 3 und 5). Der Anteil von Keimlingen mit Blättern an der Gesamtzahl der Keimlinge beträgt bei Mischsaat 48% gegenüber 24% bei Alleinsaat (1,0 cm Reihenabstand) bzw. 76% bei Mischsaat gegenüber 40% bei Alleinsaat (0,5 cm Reihenabstand). Bei den kürzeren Abständen sind die Anteile nicht deutlich unterschiedlich, sie sind bei geringen Gesamtzahlen vielmehr sehr ähnlich.

2.6. Schlussfolgerungen, Vermutungen

Das deutlichste Ergebnis dieser Versuche ist die Beschleunigung der Keimung von Spinatsamen durch die Nachbarschaft von gerade ausgekeimten Senfkeimlingen um 4 Tage. Diese Beschleunigungswirkung tritt nur dann ein bzw. ist nur dann deutlich, wenn sich die Pflanzen nicht zu dicht auf die Pelle rücken (0,0 cm bzw. 0,25 cm Reihenabstand). Nach Hinweisen aus der Literatur vermuten wir, dass die jungen Senfpflanzen Stoffe ausscheiden, die die benachbarten Spinatsamen beeinflussen. Dieser Einfluss besteht in einer Beschleunigung der Keimung. Da bei den Senfkeimlingen zunächst nur die Wurzeln vorhanden sind, vermuten wir, dass es sich um Wurzelausscheidungen handelt.

Liegen die Samen zu dicht - in Richtung der Saatreihen lagen sie sowieso sehr dicht, der Abstand vergrößerte bzw. verkleinerte sich senkrecht zu den Saatreihen-, so wird die Keimung deutlich gehemmt. Vermutlich liegt das am Platzmangel oder bzw. und an der gegenseitigen Wegnahme von Wasser.

Die beobachtete Keimungsverzögerung der Senfsamen bei Mischsaat mit Spinat ist so gering, dass das auch eine Zufallswirkung sein kann.

Dagegen fiel das Überholmanöver der Senfkeimlinge bei dichter Mischsaat mit Spinat gegenüber der dichten Senf-Alleinsaart mit ca. 3 cm mehr Länge deutlich aus, während es bei größeren Reihenabständen ziemlich egal war, ob Spinat oder Senf in der nächsten Reihe stand. Auch hier wird die Konkurrenz - oder besser gesagt, die nicht vorhandene Konkurrenz bei noch nicht oder gerade auskeimenden Spinatsamen in unmittelbarer Nachbarschaft - eine Rolle spielen. Die später auskeimenden Spinatkeimlinge bedrängen die Senfsamen nicht so stark, wie dies Senfkeimlinge in unmittelbarer Nachbarschaft tun.

3. SCHLUSS

3.1. Kritische Rückschau

Einiger Schwächen und Probleme sind wir uns bei unserer Untersuchung bewusst geworden:

1. Um aussagekräftigere Ergebnisse erzielen zu können, hätten wir den Versuch in mehreren Ansätzen durchführen müssen.
2. Zu eindeutigen Aussagen wären wir sicher auch durch eine längere Beobachtungsdauer gekommen, zumal nach der überraschenden Entwicklung am 8. Beobachtungstag. Allerdings käme dann durch die notwendige Zufuhr von Nährstoffen eine weitere Variable ins Spiel.

3.2. Ausblick

Eine Fortsetzung und Erweiterung der Versuche wäre sinnvoll, um nachzuweisen, dass es wirklich keimungsfördernde Stoffe sind, die von den Senfwurzeln abgegeben werden. Dazu könnte man Senfsamen auf Filtrierpapier auskeimen lassen, sie dann entfernen und danach Spinatsamen auf demselben Papier keimen lassen. Tritt dann auch ohne direkte Anwesenheit von Senfkeimlingen eine beschleunigte Spinatkeimung auf, so müssen eben diese Stoffe dafür verantwortlich sein.

3.3. Persönliche Erkenntnisse

Wir haben erfahren, dass man für diese Arbeit eine Menge Geduld, Ausdauer und Fleiß benötigt. Andererseits hat es uns viel Spaß gemacht, herauszufinden, dass sich Pflanzen sympathisch sein können, und dass sie es auch nicht gerne haben, wenn sie sich gegenseitig zu dicht auf die Pelle rücken.

4. ANHANG

4.1. Literatur

- 1) Frank, Gertrud; Gesunder Garten durch Mischkultur, 5. Auflg., München 1982
 - 2) Gugenhahn, Edgar; Gemüse aus dem eigenen Garten, 2.Auflg. Stuttgart 1979
 - 3) Jorek, Norbert; Gewürzpflanzen, Stuttgart und Zürich 1982
 - 4) Kreuter, Marie-Luise; Der Bio-Garten, München 1981
 - 5) Lohmann, Michael; Öko-Gärten als Lebensraum, München 1983
 - 6) Nebelthau, Otto; Mein Gemüsegarten, Leipzig o. Jahresangabe (Inselbücherei)
 - 7) Schubert, Margot; Im Garten zu Hause, München 1971
 - 8) Underwood Crockett, James; Gemüse und Obst, Amsterdam 1978
 - 9) Wolff, Peter F.C.; Der gesunde Gartenboden, München 1982
- Zeitschrift: Kraut & Rüben Zeitschrift, BLV-Verlag München Febr. 1990

4.2. Zeichnungen

Abb. 1 und 2: R. Axmacher, MG-Rheydt, 1990/92